



BEST AVAILABLE COPY

DE 102 18 635 A 1

66 Innere Priorität:  
101 23 910. 6 17. 05. 2001

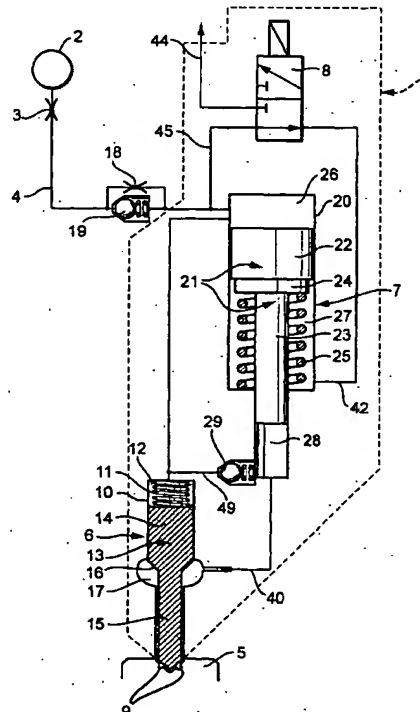
71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Magel, Hans Christoph, 72793 Pfullingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Kraftstoffeinspritzeinrichtung

57 Es wird eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung für Brennkraftmaschinen mit einem von einer Kraftstoffhochdruckquelle versorgbaren Kraftstoffinjektor und einer Druckübersetzungseinrichtung vorgeschlagen, wobei die Druckübersetzungseinrichtung einen beweglichen Druckübersetzerkolben aufweist, der einen an die Kraftstoffhochdruckquelle anschließbaren Raum von einem mit dem Kraftstoffinjektor verbundenen Hochdruckraum trennt, wobei durch Befüllen eines Rückraumes der Druckübersetzungseinrichtung mit Kraftstoff beziehungsweise durch Entleeren des Rückraumes von Kraftstoff der Kraftstoffdruck im Hochdruckraum variiert werden kann, wobei der Kraftstoffinjektor einen beweglichen Schließkolben zum Öffnen und Verschließen von Einspritzöffnungen aufweist, der in einen Schließdruckraum (12; 112) hineinragt, so dass der Schließkolben mit Kraftstoffdruck beaufschlagbar ist zur Erzielung einer in Schließrichtung auf den Schließkolben wirkenden Kraft, und wobei der Schließdruckraum (12; 112) und der Raum (26; 126) durch einen gemeinsamen Arbeitsraum gebildet werden, wobei sämtliche Teilbereiche (12, 47, 26; 112, 130, 126) des Arbeitsraumes permanent zum Austausch von Kraftstoff miteinander verbunden (47; 130) sind.



DE 102 18 635 A 1

[0001] Die Erfindung geht aus von einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach der Gattung des unabhängigen Anspruchs. Aus der DE 43 11 627 ist schon eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung bekannt, bei der ein integrierter Druckverstärkerkolben mittels einer Befüllung beziehungsweise einer Entleerung eines Rückraums eine Erhöhung des Kraftstoffeinspritzdrucks über den von einem Common-Rail-System hinaus bereitgestellten Wert ermöglicht.

#### Vorteile der Erfindung

[0002] Die erfindungsgemäße Kraftstoffeinspritzeinrichtung mit den kennzeichnenden Merkmalen des unabhängigen Anspruchs hat demgegenüber den Vorteil, dass aufgrund einer Ansteuerung ausschließlich über den Rückraum des Druckübersetzers die Ansteuerungsverluste im Kraftstoffhochdrucksystem im Vergleich zu einer Ansteuerung über einen zeitweise mit der Kraftstoffhochdruckquelle verbundenen Arbeitsraum kleiner sind. Darüber hinaus wird der Hochdruckbereich, insbesondere der Hochdruckraum, nur bis auf Raildruck und nicht bis auf Leckageniveau entlastet, wodurch der hydraulische Wirkungsgrad verbessert wird.

[0003] Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der in dem unabhängigen Anspruch angegebenen Kraftstoffeinspritzeinrichtung möglich.

[0004] Eine zum Schließkolben koaxiale Anordnung des Druckübersetzers erlaubt in vorteilhafter Weise eine klein-  
volumige und kostengünstige Bauweise.

[0005] Wird die Funktion des Druckraums des Injektors vom Hochdruckraum der Druckübersetzungseinrichtung übernommen, ergibt sich ein verkleinertes Totvolumen hinter der Druckübersetzungseinrichtung, das noch auf Hochdruck verdichtet werden muss. Außerdem wird die Amplitude eventuell auftretender Schwingungen zwischen dem Schließdruckraum und dem Druckraum verkleinert, da eine kürzere Strömungsverbindung resultiert. Das ergibt insgesamt eine zuverlässigere Betriebsweise mit der Möglichkeit schnelleren Schaltens.

[0006] Durch die Verwendung eines schnellschaltenden Piezoventils als Steuerventil können auch bei hohem Düsenöffnungsdruck kleine Einspritzmengen in definierter Weise und mit kleinen Mengentoleranzen in den Brennraum einer Brennkraftmaschine eingespritzt werden; aufgrund des schnellen Schaltvorgangs ergeben sich überdies nur kleine Leckageverluste.

[0007] Eine Variation der Schaltgeschwindigkeit insbesondere bei einem Piezoventil, das einen im Wesentlichen linear ansteuerbaren Piezoaktor aufweist, ermöglicht eine Änderung des Druckanstiegsgradienten zu Beginn der Einspritzung, also eine Einspritzverlaufsformung, und damit eine optimale Anpassung des Einspritzverlaufs an die Anforderungen des Motors.

[0008] Wird ein 3/3-Wege-Piezoventil eingesetzt, so kann die Zwischenstellung durch Teilhub des Piezoaktors realisiert und dazu eingesetzt werden, eine Einspritzung bei niedrigem Druck zu erzeugen. Auch hiermit wird eine Einspritzverlaufsformung, insbesondere eine Booteinspritzung, ermöglicht sowie die Zumessung kleiner Kraftstoffmengen verbessert.

[0009] Durch eine optimierte hydraulische Abstimmung insbesondere eines Füllpfads des Hochdruckraums läßt sich ein weiter verbessertes Nadelschließen erreichen. Dazu wird eine Beschleunigungsphase erzeugt, in der der Druck im

Düsenraum kleiner ist als der Druck im Nadeldruckraum. Damit ergibt sich eine zusätzliche hydraulische Schließkraft auf die Düsenadel und die Beschleunigungsphase beim Schließen kann stark verkürzt werden. Durch das schnellere Nadelschließen werden die Mengen-Kennlinien im ballistischen Betrieb flacher. Durch diese hydraulische Zusatzkraft wird ein sehr stabiles Nadelschließen und damit Einspritzende erreicht. Dies erhöht die Zumessgenauigkeit des Injektors. Weiterhin wird eine schnellere Reaktion der Düsenadel auf das Steuersignale erreicht, wodurch eine flachere Mengen-Kennlinie im ballistischen Bereich erreicht wird und die Zumessgenauigkeit weiter erhöht wird. Gleichzeitig ist durch das schnellere Nadelschließen eine Verbesserung der Abgasemissionswerte der Brennkraftmaschine zu erwarten.

[0010] Weitere Vorteile ergeben sich durch die weiteren in den weiteren abhängigen Ansprüchen und in der Beschreibung genannten Merkmale.

#### Zeichnung

[0011] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung, Fig. 2 ein Piezoventil, Fig. 3 eine zweite Kraftstoffeinspritzeinrichtung, Fig. 4 eine weitere Kraftstoffeinspritzeinrichtung, Fig. 5 zwei Diagramme und Fig. 6 drei weitere Diagramme. Fig. 7 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform und Fig. 8 zur Anordnung nach Fig. 7 gehörige Druckverläufe.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0012] In Fig. 1 ist eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung dargestellt, bei der ein eine Druckübersetzungseinrichtung 7 aufweisender Kraftstoffinjektor 1 über eine Kraftstoffleitung 4 mit einer Kraftstoffhochdruckquelle 2 verbunden ist, wobei in der Leitung 4 auf der Seite der Kraftstoffhochdruckquelle eine Drossel 3 und auf der Seite des Injektors ein mit einer zweiten Drossel 18 parallelgeschaltetes Rückschlagventil 19 angeordnet ist. Die Kraftstoffhochdruckquelle umfasst mehrere nicht näher dargestellte Elemente wie einen Kraftstofftank, eine Pumpe und das Hochdruckrail eines an sich bekannten Common-Rail-Systems, wobei die Pumpe einen bis zu 1600 bar hohen Kraftstoffdruck in dem Hochdruckrail bereitstellt, indem sie Kraftstoff aus dem Tank in das Hochdruckrail befördert. Dabei ist für jeden Zylinder einer Brennkraftmaschine ein separater aus dem Hochdruckrail gespeister Injektor vorgesehen. Der exemplarisch in Fig. 1 dargestellte Injektor 1 weist ein Kraftstoffeinspritzventil 6 mit einem Schließkolben 13 auf, das mit seinen Einspritzöffnungen 9 in den Brennraum 5 eines Zylinders einer Brennkraftmaschine hineinragt. Der Schließkolben 13 ist an einer Druckschulter 16 von einem Druckraum 17 umgeben, der über eine Hochdruckleitung 40 mit dem Hochdruckraum 28 der Druckübersetzungseinrichtung 7 verbunden ist. Der Schließkolben 13 ragt an seinem dem Brennraum abgewandten Ende, dem Führungsbereich 14, in einen Schließdruckraum 12 hinein, der über eine Leitung 47 mit einem mit der Kraftstoffhochdruckquelle verbundenen Raum 26 der Druckübersetzungseinrichtung verbunden ist. Ein Rückraum 27 der Druckübersetzungseinrichtung ist über eine Kraftstoffleitung 42, 45 und ein 3/2-Wege-Ventil 8 mit der Kraftstoffhochdruckquelle 2 verbindbar. Das Ventil 8 verbindet hierbei in einer ersten Stellung die Leitung 42 mit der Leitung 45, während eine zu einem nicht näher dargestellten Niederdrucksystem führende Niederdruckleitung 44 an ihrem am Ventil 8 angeschlossenen Ende verschlossen ist. In

einer zweiten Stellung des Ventils ist die zum Rückraum 27 führende Leitung 42 mit der Niederdruckleitung 44 verbunden, während das der Kraftstoffhochdruckquelle 2 abgewandte am Ventil angeschlossenen Ende der Leitung 45 abgedichtet ist. Der Schließkolben ist über eine im Schließdruckraum angeordnete und zwischen dem Gehäuse 10 des Einspritzventils 6 und dem Schließkolben 13 gespannte Rückstellfeder 11 federnd gelagert, wobei die Rückstellfeder den Nadelbereich 15 des Schließkolbens gegen die Einspritzöffnungen 9 drückt. Die Druckübersetzungseinrichtung 7 besitzt einen federnd gelagerten Druckübersetzerkolben 21, der den mit der Hochdruckleitung 40 verbundenen Hochdruckraum 28 von dem Raum 26 trennt, der über die Leitung 4 an die Kraftstoffhochdruckquelle 2 angeschlossen ist. Die zur Lagerung des Kolbens verwendete Feder 25 ist in dem Rückraum 27 der Druckübersetzungseinrichtung angeordnet. Der Kolben 21 ist zweiteilig ausgeführt und weist einen ersten Teilkolben 22 und einen durchmesserkleineren zweiten Teilkolben 23 auf. Das Gehäuse 20 der Druckübersetzungseinrichtung wird durch den im Gehäuse verschiebbar angeordneten Teilkolben 22 in zwei Bereiche aufgeteilt, die bis auf Leckageverluste flüssigkeitsdicht voneinander abgetrennt sind. Der eine Bereich ist der mit der Hochdruckquelle verbundene Raum 26, der zweite Bereich weist eine stufenförmige Verjüngung auf. Er enthält den zweiten Teilkolben 23, der in die Verjüngung verschiebbar eintaucht und sie flüssigkeitsdicht vom Rest des zweiten Bereichs abgrenzt, der den Rückraum 27 bildet. Der vom Teilkolben 23 begrenzte Bereich in der Verjüngung bildet den mit dem Druckraum 17 des Einspritzventils verbundene Hochdruckraum 28 der Druckübersetzungseinrichtung, der über ein Rückschlagventil 29 und eine Kraftstoffleitung 49 mit der Leitung 47 beziehungsweise dem Schließdruckraum 12 verbunden ist. Die beiden Teilkolben sind getrennte Bauteile, können aber auch miteinander fest verbunden ausgeführt sein. Der zweite Teilkolben 23 besitzt an seinem dem ersten Teilkolben zugewandten Ende eine über seinen Durchmesser hinausragende Federhalterung 24, so dass die gegen das Gehäuse 20 gespannte Rückstellfeder 25 den zweiten Teilkolben gegen den ersten drückt.

[0013] Der Druck der Kraftstoffhochdruckquelle 2 wird über die Leitung 4 zum Injektor geführt. In der ersten Stellung des Ventils 8 ist das Einspritzventil nicht angesteuert und es findet keine Einspritzung statt. Dann liegt der Raildruck im Raum 26, am Ventil 8, über das Ventil 8 und die Leitung 42 im Rückraum 27, im Schließdruckraum 12 und über die das Rückschlagventil 29 enthaltende Leitung 49 im Hochdruckraum 28 sowie im Druckraum 17 an. Somit sind alle Druckräume der Druckübersetzungseinrichtung mit Raildruck beaufschlagt und der Druckübersetzerkolben ist druckausgeglichen, das heisst, die Druckübersetzungseinrichtung ist deaktiviert und es findet keine Druckverstärkung statt. Der Druckübersetzerkolben wird in diesem Zustand über eine Rückstellfeder in seine Ausgangslage zurückgestellt. Der Hochdruckraum 28 wird dabei über das Rückschlagventil 29 mit Kraftstoff befüllt. Durch den Raildruck im Schließdruckraum 12 wird eine hydraulische Schließkraft auf den Schließkolben aufgebracht. Zusätzlich stellt die Rückstellfeder 11 eine schließende Federkraft bereit. Daher kann der Raildruck ständig im Druckraum 17 anstehen, ohne dass sich das Einspritzventil ungewollt öffnet. Erst wenn der Druck im Düsenraum über den Raildruck steigt, was durch Zuschalten des Druckübersetzers erreicht wird, öffnet die Düsennadel und die Einspritzung beginnt. Die Zumessung des Kraftstoffs in den Brennraum 5 erfolgt durch Aktivierung des 3/2-Wege-Ventils 8, das heisst durch Überführung des Ventils in seine zweite Stellung. Dadurch wird der Rückraum 27 von der Kraftstoffhochdruckquelle

abgetrennt und mit der Rücklaufleitung 44 verbunden, und der Druck im Rückraum fällt ab. Dies aktiviert die Druckübersetzungseinrichtung, der zweiteilige Kolben verdichtet den Kraftstoff im Hochdruckraum 28, so dass im mit dem Hochdruckraum verbundenen Druckraum 17 die in Öffnungsrichtung wirkende Druckkraft ansteigt und der Schließkolben die Einspritzöffnungen freigibt. Solange der Rückraum 27 druckentlastet ist, bleibt die Druckübersetzungseinrichtung aktiviert und verdichtet den Kraftstoff im Hochdruckraum 28. Der verdichtete Kraftstoff wird zu den Einspritzöffnungen weitergeleitet und in den Brennraum eingespritzt. Zum Beenden der Einspritzung wird das Ventil 8 wieder in seine erste Stellung überführt. Dies trennt den Rückraum 27 von der Rücklaufleitung 44 ab und verbindet ihn wieder mit dem Versorgungsdruck der Kraftstoffhochdruckquelle beziehungsweise dem Hochdruckrail des Common-Rail-Systems. Dadurch fällt der Druck im Hochdruckraum auf Raildruck ab, und da im Druckraum 17 nun ebenfalls wieder Raildruck ansteht, ist der Schließkolben hydraulisch ausgeglichen und wird durch die Kraft der Feder 11 geschlossen, wodurch der Einspritzvorgang beendet ist. Nach dem Druckausgleich des Systems wird der Druckübersetzerkolben durch eine Rückstellfeder in seine Ausgangslage zurückgestellt, wobei der Hochdruckraum 28 über das Rückschlagventil 29 und die Leitung 49 aus der Kraftstoffhochdruckquelle befüllt wird. Die Drossel 3 beziehungsweise das Rückschlagventil 19 mit der parallelgeschalteten Drossel 18 dienen zur Dämpfung von Schwingungen zwischen der Kraftstoffhochdruckquelle und dem Injektor, die ansonsten das Nadelschließen, insbesondere eventuell durchzuführende Mehrfacheinspritzungen, das heisst kurz hintereinander abfolgende Schließ- und Öffnungsvorgänge, beeinträchtigen würden.

[0014] In einer alternativen Ausführungsform kann das Rückschlagventil 29 auch im Druckübersetzerkolben integriert sein. Sowohl in der alternativen integrierten als auch in der abgebildeten separaten Ausgestaltung kann das Rückschlagventil 29 statt mit dem Schließdruckraum 12 auch mit dem Rückraum 27 verbunden sein, so dass die Befüllung des Hochdruckraums beim Schließen des Einspritzventils statt aus dem Schließdruckraum 12 aus dem Rückraum 27 erfolgt. Die zur Schwingungsdämpfung dienenden Drosseln 3 und 45 (letzte mit parallelgeschaltetem Rückschlagventil) können an beliebiger Stelle zwischen der Kraftstoffhochdruckquelle und dem Raum 26 des Injektors angebracht sein. Es können auch andere über einen Rückraum steuerbare Druckübersetzungseinrichtungen verwendet werden, beispielsweise solche mit zweiteiligem Druckübersetzerkolben, bei denen das zur Befüllung des Hochdruckraums erforderliche Rückschlagventil im zweiten (durchmesserkleinen) Teilkolben integriert ist.

[0015] Das in den Anordnungen nach Fig. 1 und 3 enthaltene 3/2-Wege-Ventil 8 kann sowohl als magnetisch als auch als piezoelektrisch ansteuerbares Ventil gemäß Fig. 2 ausgeführt sein. In der piezoelektrischen Ausführungsform als 3/2-Ventil nach Fig. 2 ist ein Ventilgehäuse 50 mit den aus der Fig. 1 bekannten drei Anschlussleitungen 42, 44 und 45 verbunden. Im Ventilgehäuse befindet sich ein beweglich gelagerter Ventilkörper 51, der in der gezeigten Ruhestellung über eine Rückstellfeder 52, die zwischen ihm und dem Ventilgehäuse gespannt ist, mit seiner halbkugelförmigen Seitenfläche flüssigkeitsabdichtend gegen den ersten Ventilsitz 53 gedrückt wird. Der gegenüberliegenden Seite des Ventilkörpers, die von einer ebenen Fläche gebildet ist, steht der mit der Leitung 45 verbundene zweite Ventilsitz 54 gegenüber. In der gezeigten Ruhestellung ist ein Zwischenraum zwischen dem Ventilkörper und dem zweiten Ventilsitz vorhanden. Vom ersten Ventilsitz 53 führt ein Rohr 55

ab, an dessen dem Ventilkörper abgewandten Ende die Niederdruckleitung 44 angeschlossen ist. Ein erster Kraftübertragungskolben 56 liegt auf der das Rohr abdichtenden halbkugelförmigen Seitenfläche des Ventilkörpers auf und ragt durch eine abgedichtete Öffnung der dem Ventilkörper abgewandten Seitenwand des Rohrs aus dem Rohr hinaus, so dass von ausserhalb des Ventilgehäuses durch Verschiebung des Kraftübertragungskolbens eine Kraft auf den Ventilkörper ausgeübt werden kann. Ein verbreitertes Endstück des Kolbens 56 ragt in einen schematisch dargestellten, mit Kopplerflüssigkeit, beispielsweise Kraftstoff, gefüllten Kopplungsraum 58 hinein. Dieser als Kopplerflüssigkeit verwendete Kraftstoff stammt beispielsweise aus einem Niederdrucksystem, von wo er über eine nicht näher dargestellte Leitung zugeführt wird. Auf der gegenüberliegenden Seite des Kopplungsraums ragt ein zweiter Kraftübertragungskolben 57 in den Kopplungsraum hinein. Letzterer ist an einem elektrisch ansteuerbaren Piezoaktor 59 befestigt, der sich durch Anlegen einer elektrischen Spannung in seiner Länge verändern kann, wobei ein auf der gegenüberliegenden Seite des Piezoaktors befestigtes Bodenelement 60 in jedem elektrischen Zustand des Piezoaktors zum Kopplungsraum den gleichen Abstand hat.

[0016] Die abgebildete Position des Ventilkörpers bildet die erste Stellung des 3/2-Wege-Ventils. In diesem Zustand verschließt der Ventilkörper die Verbindung des Rohrs mit dem Raum, in dem der Ventilkörper beweglich gelagert ist, so dass die Leitung 42 ausschließlich mit der Leitung 45 Kraftstoff austauschen kann. Soll das Ventil in seine zweite Stellung überführt werden, um eine Zumessung von Kraftstoff in den Brennraum zu erzielen, muss der Piezoaktor 59 elektrisch angesteuert werden. Zur Kompensation von temperaturabhängigen Längenänderungen des Piezoaktors und bei geeigneter Ausführung des nur schematisch dargestellten Kopplungsraums 58 auch zur Kraft-/Weg-Übersetzung steht der Piezoaktor mit dem Kraftübertragungskolben 56 über den Kraftübertragungskolben 57 und den Kopplungsraum 58 in Kontakt. Wird der Piezoaktor angesteuert, dehnt er sich aus, und es wird durch den Kopplungsraum hindurch eine Kraft auf den Ventilkörper übertragen, die diesen vom ersten Ventilsitz abhebt und gegen den zweiten Ventilsitz drückt, so dass nunmehr nicht die Leitung 45, sondern die Leitung 44 mit der Leitung 42 verbunden ist.

[0017] Das Piezoventil kann, wie in Fig. 1 und 3 gezeigt, mittels der Leitung 45 mit der Leitung 4 verbunden sein. Alternativ kann das Ventil statt mit der Leitung 4 auch direkt mit dem Raum 26 verbunden sein. Der Ventilkörper kann auch andere Formen haben, das heisst es können auch piezoelektrisch betätigbare Schieberventile, Flachsitzventile oder Kegelsitzventile oder eine beliebige Kombination zum Einsatz kommen. Sind Mittelstellungen zwischen der ersten und der zweiten Stellung vorgesehen, um beispielsweise den Rückraum nur langsam zu entlasten und entsprechend langsam den Kraftstoffdruck im Hochdruckraum aufzubauen, kann es vorteilhaft sein, als Schaltventil ein Ventil zu verwenden, das keine Öffnungsüberdeckung der beiden Ventilsitze aufweist, das heisst, dass beispielsweise der zweite Ventilsitz erst geschlossen wird, bevor sich der erste Ventilsitz langsam öffnet. Dadurch wird bei langsamer Ventilschaltung im Übergangsbereich eine Verlustmenge an Kraftstoff vermieden, da zu keiner Zeit eine Verbindung vom Rail zum Rücklaufsystem besteht. Dazu kann ein Sitz-Schieber-Ventil verwendet werden. Das Piezoventil kann auch als 3/3-Wege-Ventil ausgeführt sein, indem über eine entsprechende elektrische Ansteuerung des Piezoaktors alternativ zu oder in Kombination mit einer langsamen Ansteuerung mindestens eine Mittelstellung des Ventilkörpers vorgesehen ist, die für eine gewisse Zeit bestehen bleibt, so dass bei-

spielsweise Voreinspritzungen bei konstanten niedrigen Druckniveaus realisiert werden können. Hierbei muss allerdings in der mindestens einen Mittelstellung eine Verbindung der Leitung 42 sowohl zur Leitung 45 als auch zur Leitung 44 bestehen, damit sich im Rückraum und damit auch im Hochdruckraum ein konstantes Druckzwischeniveau ausbilden kann. Das Druckzwischeniveau im Rückraum ist durch die Strömungsquerschnitte der Ventilsitze 53 und 54 festgelegt. Hierbei ist es vorteilhaft, die Querschnittsflächen der Ventilsitze größer auszuführen als die Querschnittsflächen der Zuleitung 45 beziehungsweise des Rohrs 55 und dabei so zu wählen, dass das Zwischendruckniveau nur durch die entsprechenden Zu- und Ablaufströmungsquerschnitte der Zuleitungen 42, 44 und 45 bestimmt ist. Damit ergibt sich in der Mittelstellung ein Hubbereich des Ventilkörpers, der keinen Einfluss auf den Wert des Zwischen-druckniveaus hat. Somit bleiben eventuelle Hubtoleranzen des Piezoaktors ohne Einfluss auf den Einspritzvorgang.

[0018] Fig. 3 illustriert eine weitere Ausführungsform mit einer in dem Injektorgehäuse 100 integrierten Druckübersetzungseinrichtung. Gleiche Bestandteile wie in Fig. 1 abgebildet sind mit gleichen Bezugszeichen versehen und werden nicht nochmals beschrieben. In dem Injektorgehäuse sind drei relativ zueinander bewegliche Teile federnd gelagert: ein Druckübersetzerkolben 121, ein Schließkolben 113 und ein Ventilhohlkolben 206. Der Druckübersetzerkolben 121 weist einen ersten Teilkolben 122 und einen zweiten Teilkolben 123 auf. Der erste Teilkolben 122 wird axial bis auf Leckageverluste flüssigkeitsdicht vom Injektorgehäuse geführt. Auf der einen Seite weist der erste Teilkolben eine stufenförmige Verjüngung auf, so dass zwischen dem Injektorgehäuse und dem ersten Teilkolben die Rückstellfeder 125 der Druckübersetzungseinrichtung Platz findet. Die Rückstellfeder 125 ist zwischen einer an der Verjüngung angeordneten Federhalterung 124 und einem am Injektorgehäuse befestigten Begrenzungselement 200 gespannt, wobei die der Rückstellfeder abgewandte Seite des Begrenzungselements als Anschlag für den Druckübersetzerkolben dient, um ein Anstossen der Verjüngung des ersten Teilkolbens am Injektorgehäuse zu verhindern. Der Raum 126 zwischen dem ersten Teilkolben und dem Injektorgehäuse, in dem sich die Rückstellfeder 125 befindet, entspricht dem Raum 26 aus Fig. 1 und ist wie dieser über die Leitung 4 mit der Kraftstoffhochdruckquelle 2 verbunden. Der erste Teilkolben 122 geht auf der dem Raum 126 abgewandten Seite in den durchmesserkleineren zweiten Teilkolben 123 über, der bereichsweise ebenfalls vom Injektorgehäuse geführt wird, da dieses im Bereich des zweiten Teilkolbens eine stufenförmige Verjüngung aufweist. Der Raum zwischen dem zweiten Teilkolben und dem Injektorgehäuse bildet den Rückraum 127 des Druckübersetzers. Der Druckübersetzerkolben ist als Hohlkolben ausgebildet: eine zentrale durchgängige Bohrung 130 im Druckübersetzerkolben verbindet den Raum 126 hydraulisch mit dem Ende des Schließkolbens 113, das in das dem Raum 126 abgewandte Ende der Bohrung hineinragt, die somit als Schließdruckraum 112 dient. Das gegenüberliegende Ende des Schließkolbens, der Nadelbereich 115, verschließt die Einspritzöffnungen 9. Zwischen dem in den Schließdruckraum ragenden Bereich des Schließkolbens und dem Nadelbereich befindet sich der Führungsbereich 114 des Schließkolbens, der eine axiale Führung des Schließkolbens entlang des Injektorgehäuses gewährleistet, das im Bereich des Schließkolbens entsprechend eine zweite stufenförmige Verjüngung aufweist. Der Führungsbereich ist vorzugsweise durchmessergrößer als der Nadelbereich. Der Führungsbereich ist von einer Strömungsverbindung 205 beispielsweise in Form einer durchgängigen Bohrung durchzogen, so dass der Zwischenraum

zwischen dem Nadelbereich und dem Injektorgehäuse und der sich jenseits des Nadelbereichs an den Führungsbereich anschließende Zwischenraum zwischen einem durchmessergeringeren Bereich des Schließkolbens und dem Gehäuse Kraftstoff miteinander austauschen können. Eine Rückstellfeder 131 drückt den Schließkolben gegen die Einspritzöffnungen. Der Ventilhohlkolben weist ein spitz zu einer kreisförmigen Dichtkante zulaufendes Ende auf, das von der Rückstellfeder 111 gegen die Stirnseite des zweiten Teilkolbens gedrückt wird, so dass der Hochdruckraum 128, der durch den jenseits des Ventilhohlkolbens zwischen dem Schließkolben und dem Injektorgehäuse liegenden Raum gebildet wird, gegen den Schließdruckraum 112 abgedichtet werden kann, das heisst, dass der Ventilhohlkolben zusammen mit der Stirnseite des zweiten Teilkolbens als Rückschlagventil 129 dienen kann. Zwischen dem in die Bohrung 130 ragenden Bereich und dem den Einspritzöffnungen zugewandten Ende des Nadelbereichs weist der Schließkolben zwei Bereiche mit einem Durchmesser auf, der kleiner ist als der Durchmesser im in den Schließdruckraum ragenden Bereich: zum einen eine Taille zwischen dem Führungsbereich und dem in die Bohrung ragenden Bereich, zum anderen den Bereich zwischen dem Führungsbereich und dem den Einspritzöffnungen zugewandten Ende des Schließkolbens. Am Injektorgehäuse 100 ist im Bereich des Raums 126 ein in Form eines Zylinders in die Bohrung 130 ragendes Abstandsstück 132 befestigt. Auf der dem Schließkolben zugewandten Seite weist das Abstandsstück 132 eine Verjüngung auf, auf die eine Schließraumfeder 131 aufgezogen ist, die gegen das in die Bohrung 130 ragende Ende des Schließkolbens drückt, wobei zwischen dem Schließkolben und dem Abstandsstück genügend Freiraum ist, um durch ein Abheben des Schließkolbens von den Einspritzöffnungen einen Einspritzvorgang einleiten zu können. Bei geeigneter Dimensionierung begrenzt das Abstandsstück den Hub des Schließkolbens auf das für einen Einspritzvorgang erforderliche Mass.

[0019] In der Anordnung nach Fig. 3 fallen der Hochdruckraum 28 und der Düsenraum 17 der Anordnung nach Fig. 1 zusammen und werden vom Hochdruckraum 128 gebildet. Die Funktionsweise ist ansonsten ähnlich zur der der Anordnung nach Fig. 1. Das Rückschlagventil zur Befüllung des Hochdruckraums 128 wird durch das oben beschriebene Rückschlagventil 129 gebildet. Die Zumessung des Kraftstoffs in den Brennraum 5 erfolgt ebenfalls durch Aktivierung des 3/2-Wege-Steuerventils 8. Dadurch wird der Rückraum 127 druckentlastet und der Druckverstärker aktiviert. Der Kraftstoff im Hochdruckraum 128 wird verdichtet und über die Verbindung 205 zur Injektorspitze weitergeleitet. Der Schließkolben gibt schließlich infolge der steigenden öffnenden Druckkraft im Hochdruckraum die Einspritzöffnungen frei, und der Kraftstoff wird in den Brennraum eingespritzt. Der Einspritzdruck ist somit von Beginn an höher als der Raildruck. Der Ventilhohlkolben 206 dichtet hierbei den Hochdruckraum 128 mit einer Führung gegenüber dem Schließkolben ab, wobei der Ventilhohlkolben axial verschiebbar ist und sich während der Verdichtung des Kraftstoffs im Hochdruckraum zusammen mit dem Druckübersetzerkolben zu den Einspritzöffnungen hin bewegt. Ebenso dichtet, wie bereits ausgeführt, der Ventilhohlkolben den Hochdruckraum mit seinem Dichtsitz gegenüber dem zweiten Teilkolben ab. Dadurch wird sichergestellt, dass kein komprimierter Kraftstoff in den Schließdruckraum zurückfließen kann. Zum Beenden der Einspritzung wird durch das Steuerventil 8 der Rückraum 127 von der Leitung 44 getrennt und mit der Kraftstoffhochdruckquelle 2 verbunden, wodurch sich im Rückraum der Raildruck aufbaut und der Druck im Hochdruckraum auf Rail-

druck abfällt. Der Schließkolben ist nun hydraulisch ausgeglichen und wird durch die Kraft der Schließraumfeder 131 geschlossen, was den Einspritzvorgang beendet. Infolge des Druckausgleichs wird nun auch der Druckübersetzerkolben 121 durch die Rückstellfeder 125 in seine Ausgangslage zurückgeführt, wobei der Hochdruckraum 128 über das Rückschlagventil 129 aus dem Schließdruckraum 112 befüllt wird, der wiederum aus dem Raum 126 mit Kraftstoff gespeist wird.

[0020] Zur Stabilisierung der Schaltfolgen können zusätzliche konstruktive Massnahmen zur Dämpfung eventuell zwischen der Kraftstoffhochdruckquelle und dem Injektor auftretender Schwingungen getroffen werden. Neben einer geeigneten Auslegung der Drossel 3 können auch alternativ oder in Kombination Drosselrückschlagventile an beliebiger Stelle der Zuleitungen 4, 42 und 45 eingebaut werden. Darüber hinaus können der Druckübersetzerkolben, der Schließkolben und der Ventilhohlkolben auch abweichende Formen aufweisen. Beim Schließkolben wesentlich ist, dass zum einen eine Kraftstoffzufuhr bis zu den Einspritzöffnungen gewährleistet ist und dass im Bereich des Hochdruckraums der Kraftstoffdruck eine Angriffsfläche vorfindet, die effektiv zu einer axialen Kraft auf den Schließkolben führt, die zum Druckübersetzerkolben hin orientiert ist, das heisst die in Öffnungsrichtung wirkt.

[0021] Fig. 4 illustriert eine weitere Bauform eines Injektors mit integrierter Druckübersetzungseinrichtung. Im Unterschied zur Anordnung nach Fig. 3 wird der Schließkolben 113 durch den Führungsbereich 210 des zweiten Teilkolbens 123 bis auf Leckageverluste flüssigkeitsdicht geführt. Der Ventilhohlkolben 206 aus Fig. 3 kann daher entfallen, dafür muss ein separates Rückschlagventil 215 zur Befüllung des Hochdruckraums 128 vorgesehen werden, das im abgebildeten Beispiel mit dem Rückraum 127 verbunden ist. Ebenso wie bei der Anordnung nach Fig. 1 oder 3 können der Raum 126 und der Schließdruckraum 112 ständig Kraftstoff miteinander austauschen, wobei im Unterschied zur Anordnung nach Fig. 3 die den Druckübersetzerkolben zurückstellende Feder 217 nicht im Raum 126, sondern im Rückraum 127 angesiedelt ist, wo sie zwischen einer stufenförmigen Verengung des Injektorgehäuses und dem ersten Teilkolben 122 gespannt ist. Ein am Injektorgehäuse befestigtes Begrenzungsselement 218 begrenzt hierbei die Bewegungsfreiheit des Druckübersetzerkolbens, so dass der Raum 126 stets ein von Null verschiedenes Volumen aufweist.

[0022] In alternativen Ausführungsformen kann das Rückschlagventil 215 statt mit dem Rückraum 127 mit dem Raum 126 oder direkt mit der Leitung 4 verbunden sein. Das Rückschlagventil kann auch im Druckübersetzerkolben 121 oder im Schließkolben 113 integriert sein.

[0023] In allen Ausführungsbeispielen sind der Schließdruckraum 12 beziehungsweise 112 und der Raum 26 beziehungsweise 126 durch einen gemeinsamen Schließdruck-Arbeitsraum (12, 26, 47) beziehungsweise (112, 126, 130) realisiert, wobei sämtliche Teilbereiche (12, 26) beziehungsweise (112, 126) des Schließdruck-Arbeitsraums permanent zum Austausch von Kraftstoff miteinander verbunden sind, zum Beispiel über mindestens eine Kraftstoffleitung 47 oder über mindestens eine in dem Druckübersetzerkolben integrierte Bohrung 130. Der Druckraum 17 und der Hochdruckraum 28 kann darüber hinaus durch einen gemeinsamen Einspritzraum (17, 28, 40) gebildet werden, wobei sämtliche Teilbereiche des Einspritzraums permanent zum Austausch von Kraftstoff miteinander verbunden sind. Der Druckraum 17 und der Hochdruckraum 28 können hierbei über eine Kraftstoffleitung 40 miteinander verbunden sein (vergleiche Fig. 1), oder der Druckraum kann durch den

Hochdruckraum (128) selbst gebildet sein (vergleiche Fig. 3 und 4).

[0024] Fig. 5 zeigt die zeitlichen Verläufe des Kraftstoffdrucks  $p$  im Hochdruckraum 28 beziehungsweise 128. Die Kurve 310 stellt die Druckverhältnisse bei schneller Betätigung des 3/2-Piezoventils gemäß Fig. 2 dar, die Kurve 311 bei langsamer Ventilbetätigung.

[0025] Die erste Stellung des Ventils, bei der der Ventilkörper gegen den ersten Ventilsitz 53 gedrückt ist, wird im Folgenden als Ruhestellung und die zweite Stellung, bei der der Ventilkörper gegen den zweiten Ventilsitz 54 gedrückt ist, als Endposition bezeichnet. Bei schneller Ventilbetätigung wird der Piezoaktor derart elektrisch angesteuert, dass der Ventilkörper schnell aus der Ruhestellung in die Endposition gelangt, bei langsamer Ventilbetätigung wird die am Piezoaktor anliegende elektrische Spannung langsam erhöht, so dass der Ventilkörper mit kleiner Geschwindigkeit aus der Ruhestellung in die Endposition gelangt. Die Kurven 320 und 321 zeigen die zugehörigen Druckverläufe im Rückraum des Druckübersetzers in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ . Der resultierende Hub  $h$  des Piezoaktors, also der Bewegung des Ventilkörpers, ist in den Kurven 330 und 331 abgebildet. Prail bezeichnet den Druck der Kraftstoffhochdruckquelle beziehungsweise den Druck im Hochdruckrail des Common-Rail-Systems,  $p_{max}$  den maximal im Hochdruckraum erzielbaren Kraftstoffdruck und  $h_{max}$  den maximalen Hub des Ventilkörpers.

[0026] In der Ruhestellung des Ventilkörpers ist der Druckübersetzer deaktiviert und der Kolben des Druckübersetzers in seiner Ausgangsstellung zurückgestellt, es findet keine Einspritzung statt. Sowohl im Hochdruckraum als auch im Rückraum herrscht Raildruck  $p_{rail}$  (siehe die Kurven 310, 311, 320 und 321 im Zeitraum von Null bis zum Zeitpunkt  $t_1$ ). In der Endposition  $h_{max}$  des Ventilkörpers ist der Druckübersetzer vollständig aktiviert, der Druck im Rückraum sinkt auf einen kleinen Wert nahe Null und der Druck im Hochdruckraum erreicht seinen Maximalwert  $p_{max}$ . Der Schließkolben wird angehoben und eine Einspritzung findet statt. In einem Übergangsbereich zwischen der Ruhestellung und der Endposition ist der Druckübersetzer hierbei teilweise aktiviert, der Druck im Rückraum nimmt mit zunehmenden Hub des Piezoventils ab und der Druckübersetzerkolben erzeugt einen mittleren Einspritzdruck, der mit zunehmendem Ventilhub ansteigt, so dass die Einspritzung mit ansteigendem Druck abläuft. In den in der Fig. 5 abgebildeten Diagrammen wird zur vereinfachten Darstellung davon ausgegangen, dass sich der Düsenöffnungsdruck nur unwesentlich vom Raildruck unterscheidet. Bei langsamer Betätigung des Ventils ab dem Zeitpunkt  $t_1$  (Kurve 331) sinkt der Druck im Rückraum kontinuierlich bis zum Zeitpunkt  $t_2$  auf einen kleinen Wert ab (Kurve 321), während der Druck im Hochdruckraum langsam auf den Wert  $p_{max}$  ansteigt (Kurve 311). Bei Erreichen des Düsenöffnungsdrucks kurz nach  $t_1$  hebt sich der Schließkolben von den Einspritzöffnungen ab und öffnet vollständig, so dass eine zunehmende Menge an Kraftstoff mit zunehmendem Druck eingespritzt wird. Zum Zeitpunkt  $t_2$  ist der maximale Öffnungshub  $h_{max}$  des Ventilkörpers und der maximale Einspritzdruck  $p_{max}$  erreicht. Der Schließvorgang zum Zeitpunkt  $t_3$  erfolgt schnell, um einen schnellen Druckabbau bei Einspritzende zu gewährleisten (als englischer Fachausdruck wird hierfür die Bezeichnung "rapid spill" verwendet). Zum Zeitpunkt  $t_3$  also, in dem die Verlängerung des Piezoaktors rückgängig gemacht wird, wird der Druck sowohl im Hochdruckraum als auch im Rückraum auf Raildruckniveau zurückgeführt und der Schließkolben verschließt wieder die Einspritzöffnungen. Wird hingegen zum Zeitpunkt  $t_1$  das Ventil schnell angesteuert (Kurve 330),

wird der Übergangsbereich schnell durchlaufen und der Druck im Hochdruckraum steigt erheblich vor dem Zeitpunkt  $t_2$  auf das Maximalniveau  $p_{max}$  an (siehe Kurve 310), während gleichzeitig der Druck im Rückraum rasch auf einen geringen Wert abfällt (siehe Kurve 320). Dementsprechend ergibt sich ein quasi rechteckförmiger Druckverlauf 310. Der Schließvorgang erfolgt in analoger Weise zum zuvor beschriebenen Fall vorzugsweise schnell, um einen schnellen Druckabbau bei Einspritzende zu gewährleisten.

[0027] Fig. 6 stellt die Druckverhältnisse dar für den Fall, dass beispielsweise das Piezoventil nach Fig. 2 als 3/3-Wege-Ventil betrieben wird. Neben der Ruhestellung und der Endposition hat der Ventilkörper des Ventils in diesem Fall auch eine Mittelstellung, in der er zumindest für einen gewissen Zeitraum verbleiben kann und in der die Leitung 42 sowohl mit der Leitung 45 als auch mit der Leitung 44 verbunden ist. Dann kann sich in diesem Zeitraum im Rückraum ein Druckgleichgewicht auf einem Zwischendruckniveau  $PZ1$  einstellen, das durch die ins Niederdrucksystem abfließende und die von der Kraftstoffhochdruckquelle zufließende Menge zusammen bestimmt wird. Die Kurve 410 zeigt den Druckverlauf im Hochdruckraum, die Kurve 420 den Druckverlauf im Rückraum. Im darunter stehenden  $h(t)$ -Diagramm ist der zeitliche Verlauf des Hubs des Schließkolbens, im dritten Diagramm der zeitliche Verlauf des Piezohubs  $H$ , also der Bewegung des Ventilkörpers, abgebildet.  $H_{max}$  bezeichnet den maximalen Wert für den Piezohub, mit dem die Endposition des Ventilkörpers eingestellt werden kann, in der der Rückraum nur noch mit dem Niederdrucksystem verbunden ist. Der Öffnungsdruck  $p_0$  im Hochdruckraum ist der zur Anhebung des Schließkolbens erforderliche Druck.  $t_1$  bis  $t_5$  bezeichnen verschiedene aufeinanderfolgende Zeitpunkte innerhalb eines Einspritzzyklus, der eine Booteinspritzung, das heißt eine erste Einspritzphase auf niedrigem Druckniveau, und eine zweite Einspritzphase auf hohem Druckniveau umfasst.

[0028] Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird der Ventilkörper durch eine entsprechende Ansteuerung des Piezoaktors in die Mittelstellung überführt und bis zum Zeitpunkt  $t_3$  in dieser Mittelstellung gehalten (siehe das  $H(t)$ -Diagramm). Im Rückraum sinkt der Druck auf das Zwischendruckniveau  $PZ1$  ab, während der Druck im Hochdruckraum langsam ansteigt. Sobald er den Öffnungsdruck im Zeitpunkt  $t_2$  übersteigt, öffnet der Injektor (siehe das  $h(t)$ -Diagramm) und es erfolgt eine Booteinspritzphase auf einem Druckniveau zwischen dem Raildruckniveau und dem maximal mit dem Druckübersetzer erzielbaren Druckwert. Zum Zeitpunkt  $t_3$  wird das Piezoventil in seine Endstellung (zweite Stellung) mit dem Hubwert  $H_{max}$  überführt, so dass der Druck im Rückraum auf einen geringen Wert nahe Null abfällt, während die Einspritzöffnungen weiter geöffnet bleiben und der Druck im Hochdruckraum auf den Wert  $p_{max}$  ansteigt. Diese Haupt-einspritzphase dauert bis zum Zeitpunkt  $t_4$ , in dem das Ventil in seine Ruhestellung zurückgefahren wird ( $H = 0$ ), so dass im Hochdruckraum und im Rückraum ein Druckausgleich auf Raildruckniveau stattfindet und kurze Zeit später im Zeitpunkt  $t_5$  der Schließkolben die Einspritzöffnungen verschließt ( $h = 0$ ).

[0029] Alternativ kann die Zwischenstellung auch für eine Einspritzung mit niedrigem Einspritzdruck verwendet werden, wobei aus der Zwischenstellung wieder in Ruhestellung gegangen wird. Dies geschieht beispielsweise bei kleinen Einspritzmengen, wie sie bei einer Voreinspritzung oder im Leerlauf gefordert sind.

[0030] In allen Ausführungsbeispielen sind der Schließdruckraum 12 beziehungsweise 112 und der Raum 26 beziehungsweise 126 durch einen gemeinsamen Arbeitsraum (12, 47, 26) beziehungsweise (112, 130, 126) realisiert, wobei



sämtliche Teilbereiche des Arbeitsraums permanent zum Austausch von Kraftstoff miteinander verbunden sind, zum Beispiel über mindestens eine Kraftstoffleitung 47 oder über mindestens eine in dem Druckübersetzerkolben integrierte Bohrung 130. Der Druckraum 17 und der Hochdruckraum 28 kann darüber hinaus durch einen gemeinsamen Einspritzraum (17, 28, 40) gebildet werden, wobei sämtliche Teilbereiche des Einspritzraums permanent zum Austausch von Kraftstoff miteinander verbunden sind. Der Druckraum 17 und der Hochdruckraum 28 können hierbei über eine Kraftstoffleitung 40 miteinander verbunden sein (vergleiche Fig. 1), oder der Druckraum kann durch den Hochdruckraum (128) selbst gebildet sein (vergleiche Fig. 3 und 4).

[0031] Fig. 7 zeigt eine Abwandlung der Ausführungsform nach Fig. 1, bei der bei sonst gleichem Aufbau zusätzlich eine Drossel 520 in der Leitung 49 eingebaut ist, so dass die Verbindung zwischen dem Hochdruckraum 28 und dem Schließdruckraum 12 beziehungsweise dem Raum 26 gedrosselt wird. Der Querschnitt des Verbindungspaths des 3/2-Wege-Ventils 8 zwischen der Leitung 45 und der Leitung 42 ist mit dem Bezugszeichen 510 versehen und wird im Folgenden als Ventilquerschnitt bezeichnet.

[0032] Durch eine geeignete Abstimmung des Ventilquerschnitts 510, der den Rückraum 27 mit der Druckversorgung verbindet, und des Strömungsquerschnittes des Füllpfads 49 durch eine geeignete Wahl des Strömungsquerschnittes der Drossel 520 kann eine hydraulische Zusatzkraft zum Nadel-schließen erzeugt werden. Dazu wird der Füllpfad 49 durch die Drossel 520 sehr klein ausgelegt, jedoch groß genug, um ein Füllen des Hochdruckraums 28 und ein Rückstellen des Druckverstärkerkolbens bis zur nächsten Einspritzung zur ermöglichen. Ferner wird der Ventilquerschnitt 510 groß genug ausgelegt, damit im Rückraum 27 ein schneller Druckaufbau auf Raildruck stattfindet, wobei je nach Leitungsauslegung auch eine Drucküberhöhung im Rückraum stattfinden kann. Durch den schnellen Druckaufbau im Rückraum findet im Hochdruckraum 28 ein schneller Druckabbau auf Raildruck mit anschließendem Druckunterschwingen unter Raildruck statt. Durch die Drossel 520 wird ein zu schneller Druckausgleich zwischen Raum 28 und Raum 12 bzw. 26 verhindert. Da in dieser Phase im Schließdruckraum 12 weiter Raildruck ansteht, tritt eine schließende hydraulische Kraft auf die Düsennadel auf.

[0033] In einer weiteren alternativen Ausführungsform wird die Auslegung des Strömungsquerschnitts des Füllpfads 49 statt durch die Verwendung einer Drossel durch einen entsprechenden Strömungsquerschnitt aufweisendes Rückschlagventil 29 sichergestellt.

[0034] Fig. 8 zeigt schematisch die mit der Anordnung nach Fig. 7 erzielbaren Druckverläufe. Hierbei ist der zeitliche Verlauf des Kraftstoffdrucks im Hochdruckraum 28 mit dem Bezugszeichen 1310 versehen, der zeitliche Verlauf des Kraftstoffdrucks im Rückraum 27 des Druckübersetzers mit dem Bezugszeichen 1320.

[0035] Hierbei stellt sich das Einspritzende folgendermaßen dar: Nach Deaktivieren des Ventils 8 erfolgt im Rückraum 27 und im Schließdruckraum 12 ein Druckaufbau auf Raildruck, wodurch gleichzeitig im Hochdruckraum 28 und im Druckraum 17 ein schneller Druckabfall auf Raildruck erfolgt. Der letztgenannte Druckabfall erfolgt so schnell, dass ein Unterschwingen des Druckes im Hochdruckraum und im Druckraum unter den Raildruck stattfindet. Genau in dieser Phase findet das Nadelschließen statt, so dass eine zusätzliche hydraulische Druckkraft auf die Düsennadel auftritt, wodurch ein schnelles Nadelschließen erreicht und die Kraftstoffmengen noch genauer in die Brennkammern der Brennkraftmaschine eidosiert werden können. Im weiteren Verlauf stellt sich auch im Hochdruckraum und im Druck-

raum der Raildruck ein. Der im Verlauf 1320 gezeichnete Überschwinger über den Raildruck hinaus ist hydraulisch bedingt und kann durch geeignete Leitungsauslegung minimiert bzw. unterdrückt werden. Wesentlich für den schnellen Druckabfall mit folgendem Unterschwinger unter Raildruck im Hochdruckraum ist der schnelle Druckaufbau im Rückraum.

#### Patentansprüche

1. Kraftstoffeinspritzeinrichtung für Brennkraftmaschinen mit einem von einer Kraftstoffhochdruckquelle versorgbaren Kraftstoffinjektor, wobei zwischen dem Kraftstoffinjektor und der Kraftstoffhochdruckquelle eine einen beweglichen Druckübersetzerkolben aufweisende Druckübersetzungseinrichtung geschaltet ist, wobei der Druckübersetzerkolben einen an die Kraftstoffhochdruckquelle anschließbaren Raum von einem mit dem Kraftstoffinjektor verbundenen Hochdruckraum trennt, wobei durch Befüllen eines Rückraumes der Druckübersetzungseinrichtung mit Kraftstoff beziehungsweise durch Entleeren des Rückraums von Kraftstoff der Kraftstoffdruck im Hochdruckraum variiert werden kann, wobei der Kraftstoffinjektor einen beweglichen Schließkolben zum Öffnen und Verschließen von Einspritzöffnungen aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schließkolben (13; 113) in einen Schließdruckraum (12; 112) hineinragt, so dass der Schließkolben mit Kraftstoffdruck beaufschlagbar ist zur Erzielung einer in Schließrichtung auf den Schließkolben wirkenden Kraft, und dass der Schließdruckraum (12; 112) und der Raum (26; 126) durch einen gemeinsamen Arbeitsraum gebildet werden, wobei sämtliche Teilbereiche (12, 47, 26; 112, 130, 126) des Arbeitsraums permanent zum Austausch von Kraftstoff miteinander verbunden (47; 130) sind.
2. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckübersetzerkolben koaxial zum Schließkolben angeordnet ist und dass der an den Schließkolben angrenzende Teilbereich (112) des Arbeitsraums mit den übrigen Teilbereichen des Arbeitsraums über eine in den Druckübersetzerkolben integrierte Bohrung (130) verbunden ist.
3. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das den Einspritzöffnungen abgewandte Ende des Schließkolbens durch die Bohrung (130) bis auf Leckageverluste flüssigkeitsdicht geführt wird.
4. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kraftstoffinjektor einen Druckraum (17; 205, 128) zum Versorgen der Einspritzöffnungen mit Kraftstoff und zum Beaufschlagen des Schließkolbens mit einer in Öffnungsrichtung wirkenden Kraft aufweist.
5. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckraum (17; 205, 128) und der Hochdruckraum (28; 128) durch einen gemeinsamen Einspritzraum (17, 28, 40; 205, 128) gebildet werden, wobei sämtliche Teilbereiche (17, 28; 205, 128) des Einspritzraums permanent zum Austausch von Kraftstoff miteinander verbunden sind.
6. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckraum (17) und der Hochdruckraum (28) über eine Kraftstoffleitung (40) miteinander verbunden sind.
7. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckraum durch den Hochdruckraum (128) gebildet ist.

8. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schließdruckraum (112) und der Rückraum (127) durch einen Teilkolben (123) des Druckübersetzerkolbens (121) voneinander abgegrenzt sind. 5
9. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochdruckraum (28; 128) über ein Rückschlagventil (29; 129) mit dem Schließdruckraum (12; 112) verbunden ist. 10
10. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung zwischen dem Hochdruckraum und dem Schließdruckraum derart gedrosselt (520; 29) ist, dass während eines Schließvorgangs ein Unterschwingen des Drucks im Druckraum unterhalb des Drucks der Kraftstoffhochdruckquelle erfolgen kann. 15
11. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochdruckraum (128) über ein Rückschlagventil (215) mit dem Rückraum (127) verbunden ist. 20
12. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rückraum (27; 127) über ein Ventil (8) wahlweise mit einer Niederdruckleitung (44) oder mit der Kraftstoffhochdruckquelle (2) verbindbar ist. 25
13. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil ein eine erste und eine zweite Stellung aufweisendes Piezoventil ist, wobei das Piezoventil den Rückraum in einer ersten Stellung mit der Kraftstoffhochdruckquelle und in einer zweiten Stellung mit der Niederdruckleitung (44) verbindet. 30
14. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Piezoventil derart ausgebildet ist, dass die Geschwindigkeit des Übergangs zwischen der ersten und der zweiten Stellung variiert werden kann. 35
15. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil in mindestens eine Zwischenstellung überführbar ist, so dass sich im Rückraum ein Zwischendruckniveau ergibt. 40
16. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil in der Zwischenstellung den Rückraum sowohl mit der Kraftstoffhochdruckquelle als auch mit der Niederdruckleitung verbindet. 45

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

50

55

60

65



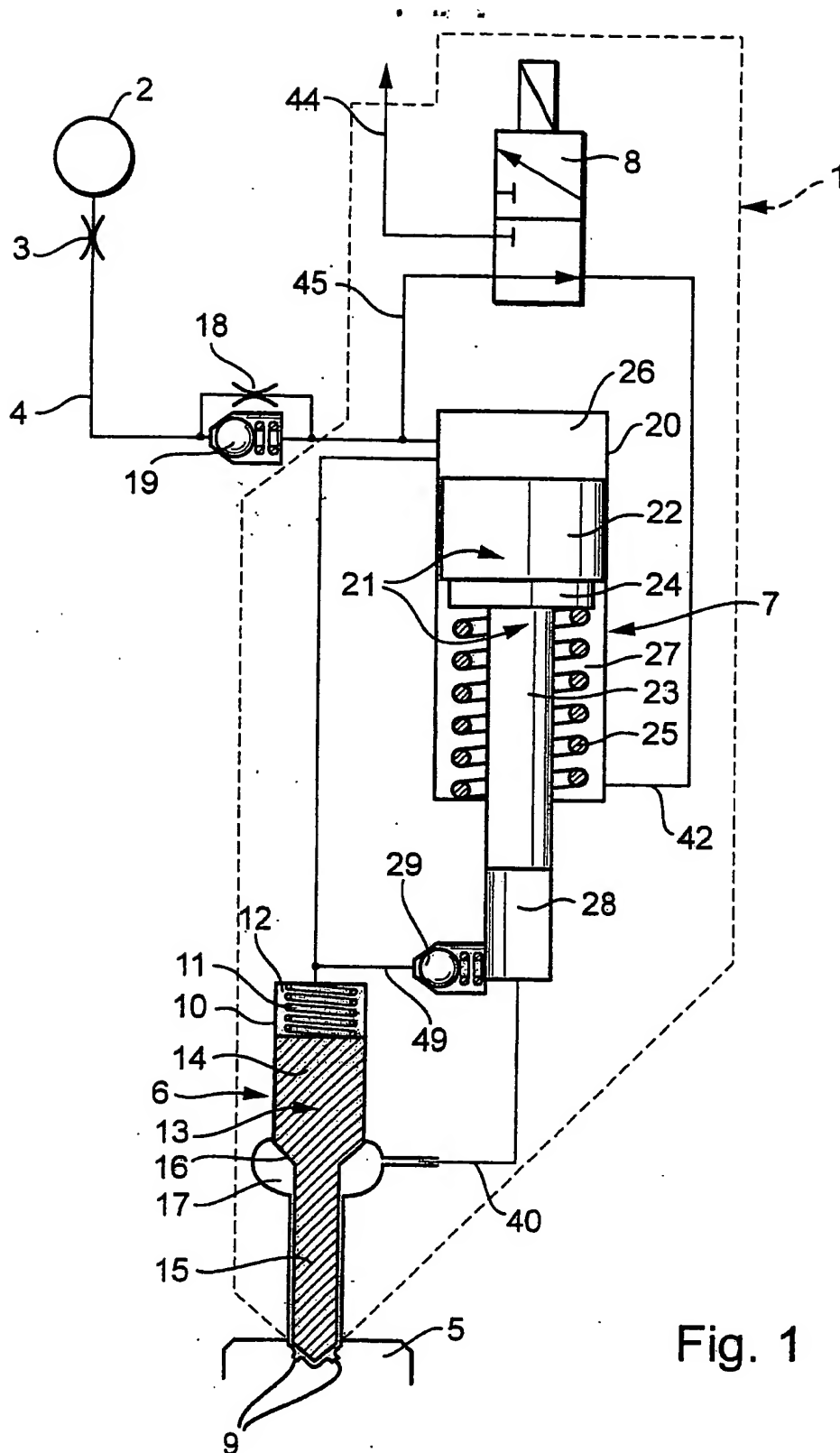
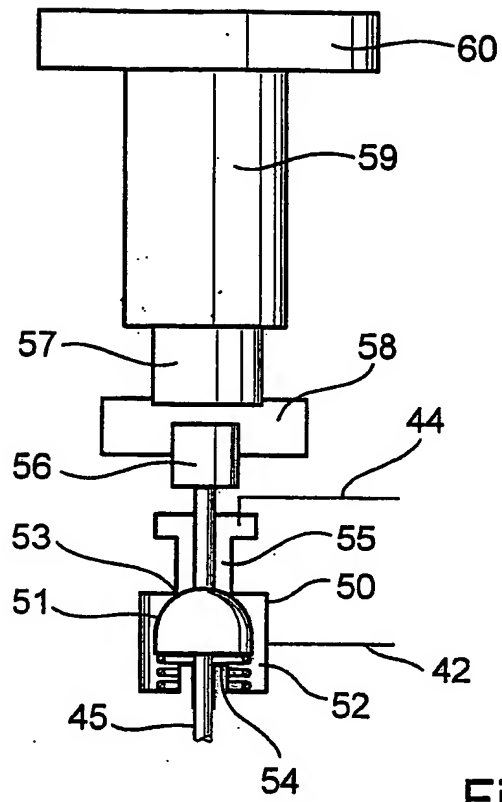


Fig. 1



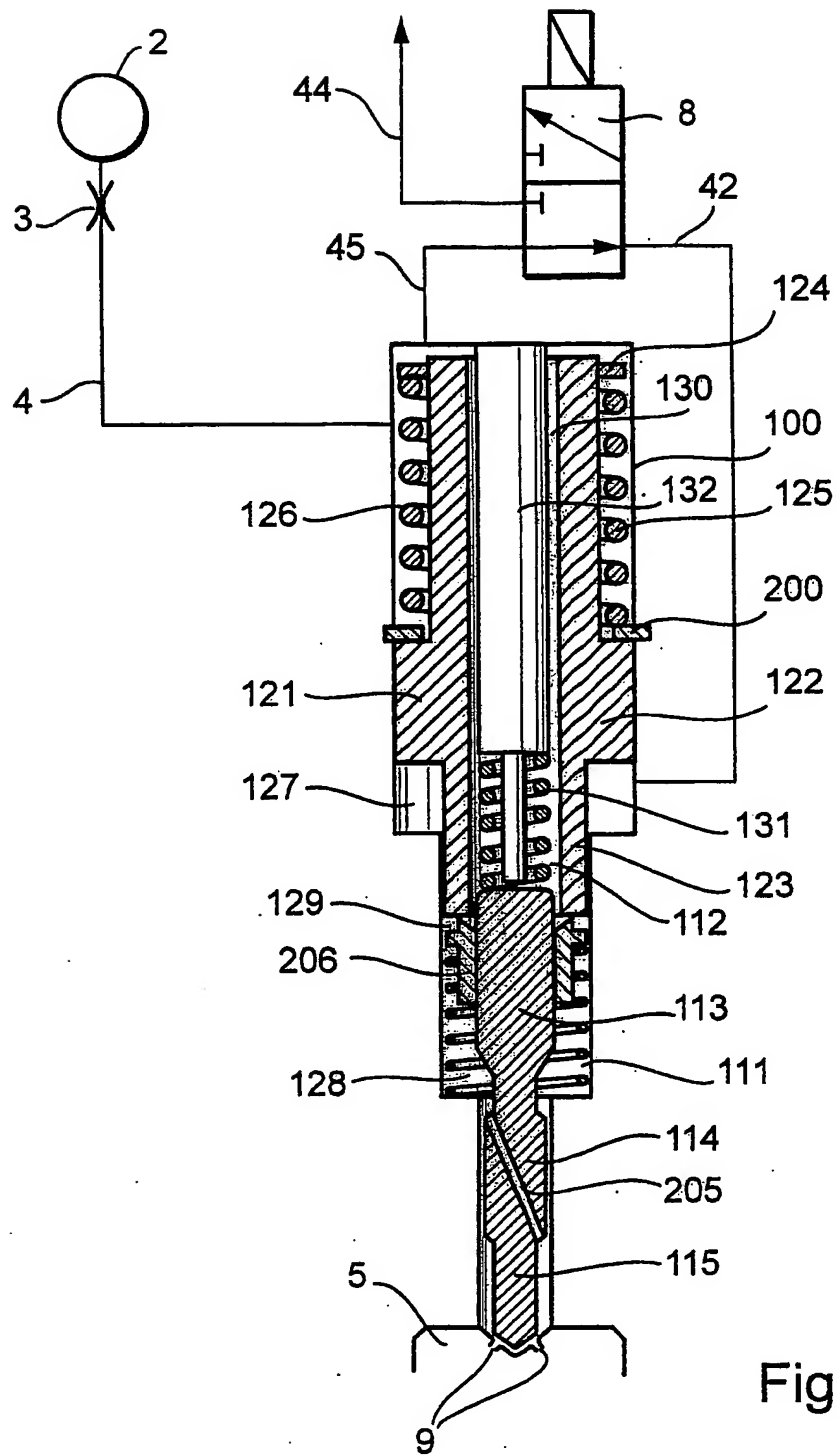
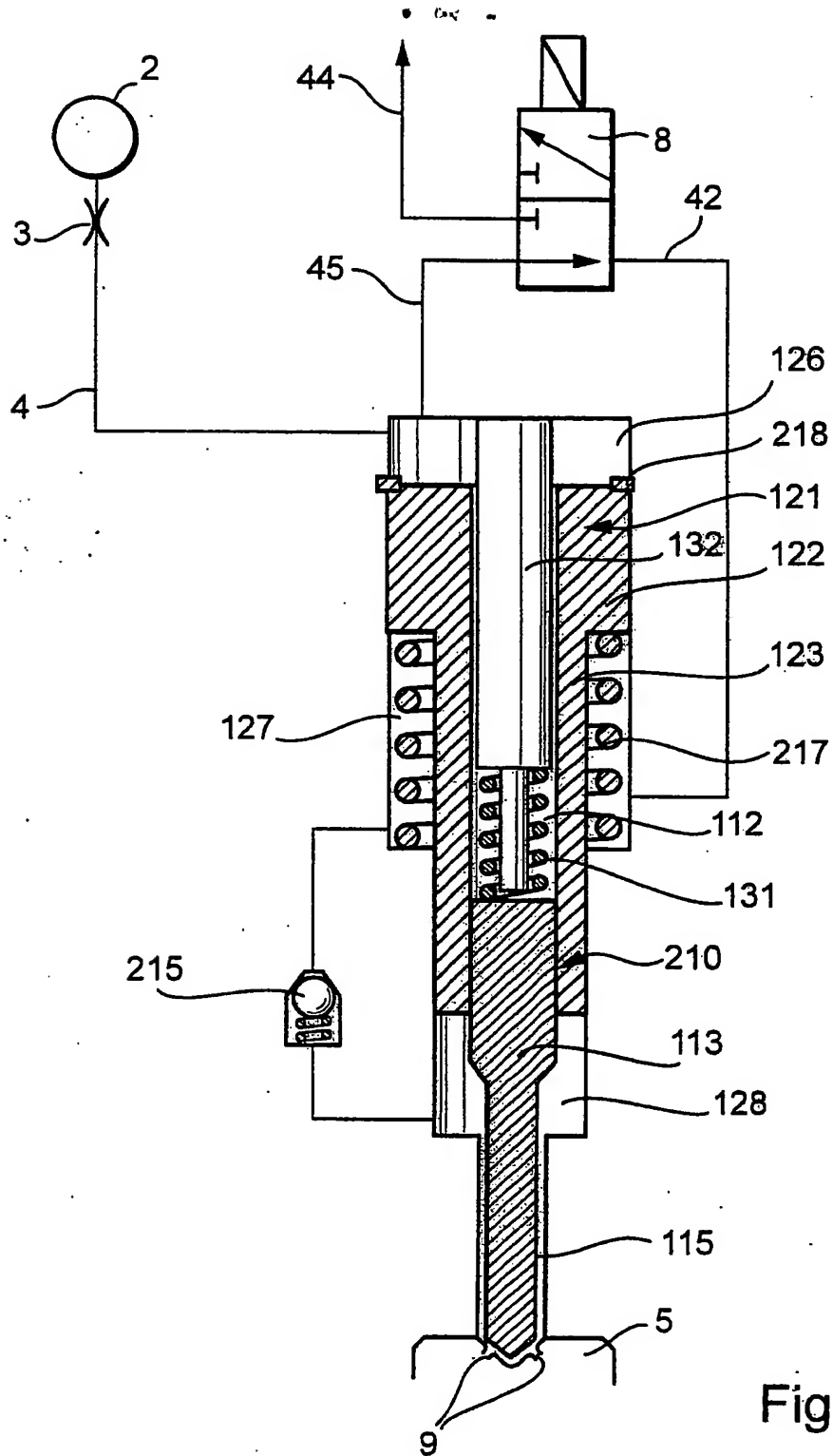


Fig. 3



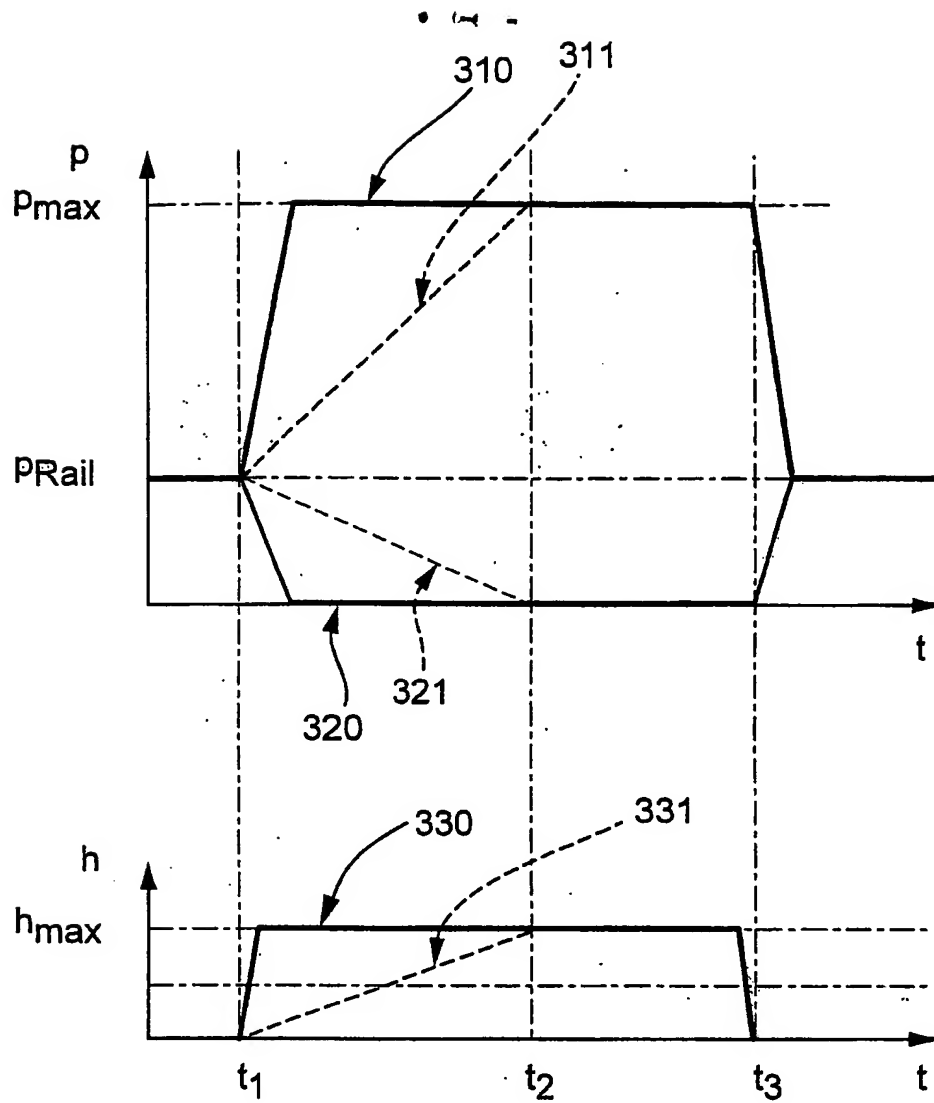


Fig. 5

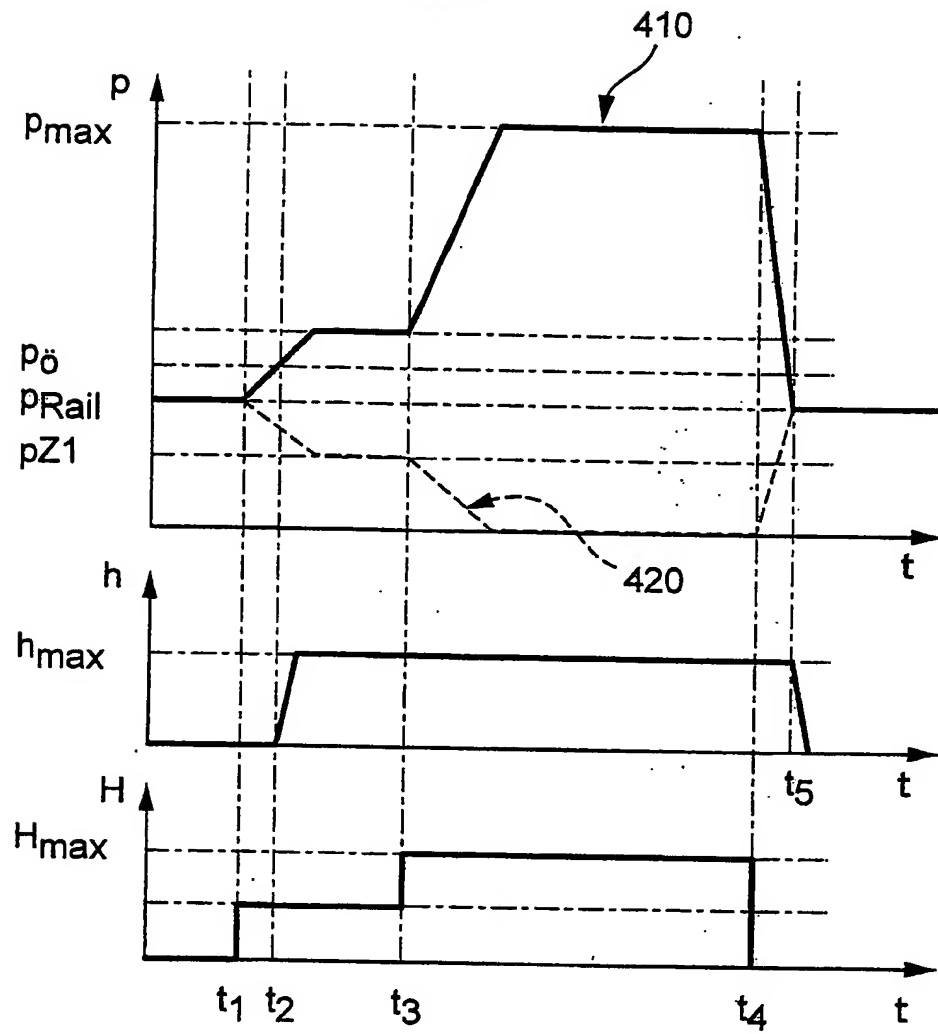


Fig. 6



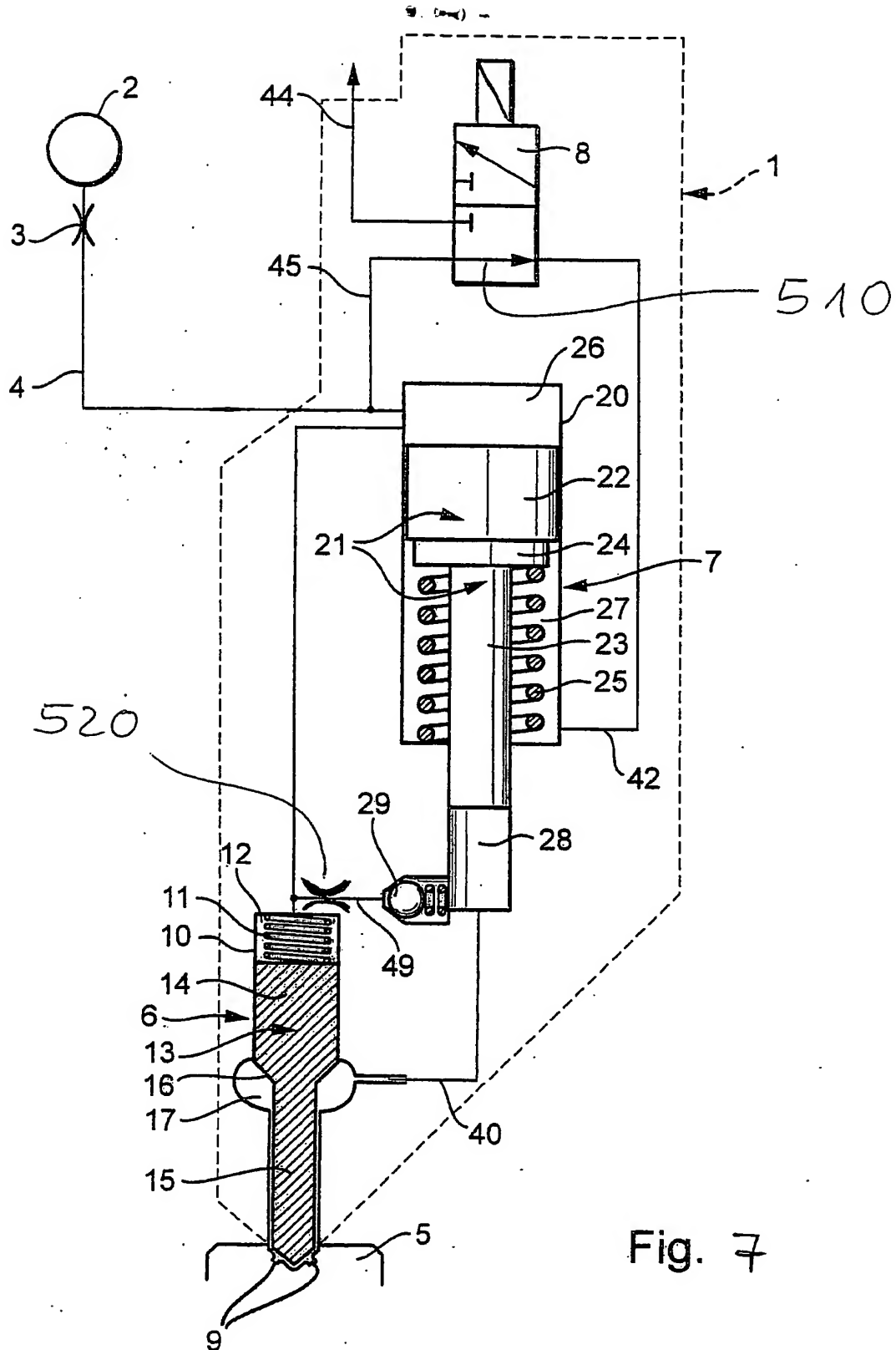
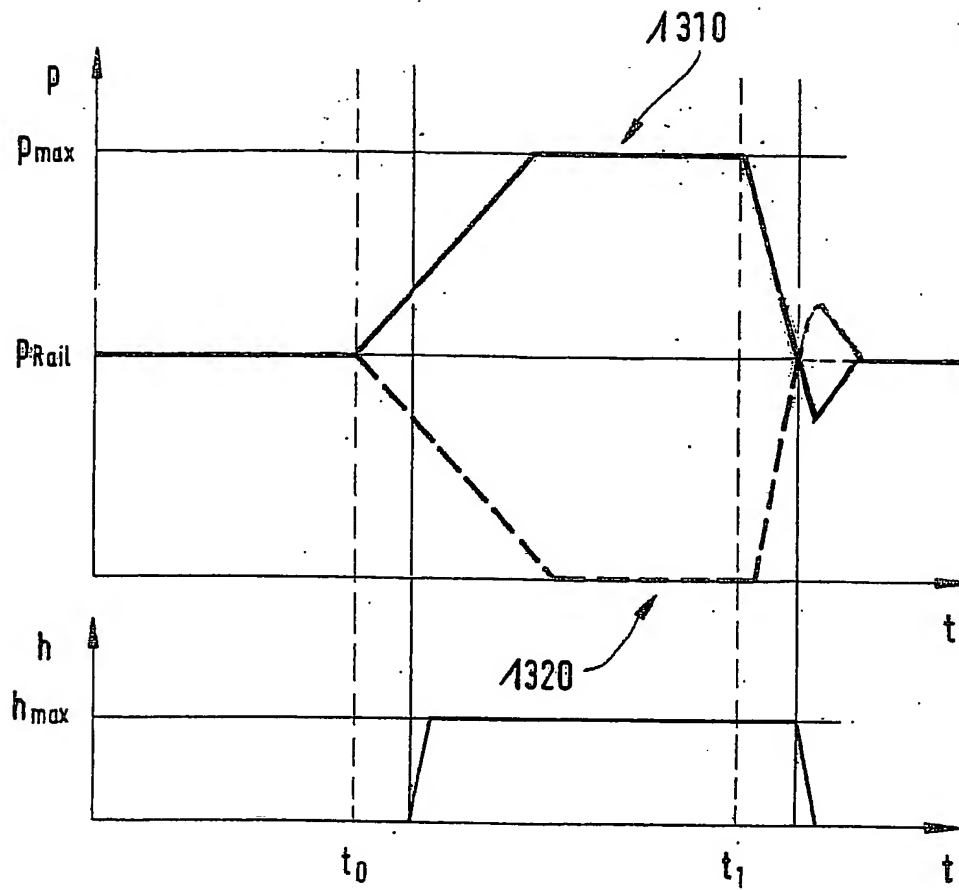


Fig. 7

FIG. 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**